

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЕЙВЛЕТ–ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ РАЗЛИЧНОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Тренихин В. А., Коберниченко В. Г.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002, Россия

тел.: (343) 3754493, e-mail: tva1@inbox.ru, v.g.kobernichtnko@urfu.ru

Аннотация — Обсуждаются методы совместной обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяющие синтезировать мультиспектральные изображения низкого разрешения и панхроматические изображения высокого разрешения в цветное изображение высокого разрешения, а также объединять их с радиолокационными изображениями. Предложен модифицированный алгоритм слияния на основе вейвлет-преобразования, позволяющий использовать различные типы вейвлетов. Приводятся результаты использования метода для слияния изображений с различным разрешением. Обсуждаются особенности количественной оценки результатов обработки.

USING WAVELET TRANSFORMATION FOR FUSION IMAGES BASED ON DIFFERENT RESOLUTION REMOTE SENSED DATA

Trenikhin V. A., Kobernichenko V. G.

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
19, Mira ul., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation

Ph.: (343) 3754493, e-mail: tva1@inbox.ru, v.g.kobernichtnko@urfu.ru

Abstract — The article is devoted to describe problems of analysis remote sensed data. The methods for fusing multispectral low-resolution remote sensed images with a more highly resolved panchromatic image to high-resolution images are discussed. The analysis and modification of image fusion based wavelet transformation are given. The results of use described method are demonstrated. The characteristics of image processing quantitative estimation based on the presented method are described.

I. Введение

Одной из проблем комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемых различными космическими системами является совместная обработка изображений, сформированных в разных спектральных диапазонах, с различным пространственным разрешением. Такая проблема возникает при обработке данных мультиспектральных оптических систем, их объединении с СВЧ радиометрическими и радиолокационными изображениями [1, 2]. Аналогичная проблема существует при совместной обработке данных ДЗЗ, наземных измерений и априорных сведений, представленных в виде тематических слоев цифровых карт

Большинство современных спутниковых систем, ведущих наблюдение за Землей, таких как Landsat, SPOT, QuickBird, WorldView-2, Ресурс-П и другие, обладают возможностью получения мультиспектральных и панхроматических изображений разного пространственного разрешения. Для того чтобы эффективно комплексировать эти данные, в настоящее время разработано большое количество методов получения синтезированных мультиспектральных изображений с увеличением пространственного разрешения за счет их объединения с панхроматическим изображением высокого разрешения в одном цветном снимке. Для обозначения этой процедуры чаще всего применяется термин «слияние изображений» [3-6].

Процедура «слияния изображений» в общем случае содержит следующие этапы:

Преобразование исходных изображений при помощи различных методов к виду пригодному для введения детализирующей информации высокого разрешения в другие изображения.

Приведение частот дискретизации преобразованных изображений друг к другу и последующая интерполяция (линейная, бикубическая, по правилу ближайшего соседа и т.д.).

Введение детализирующей информации изображения высокого разрешения в яркостные компоненты преобразованных изображений.

Обратное преобразование в базис RGB.

Многочисленные процедуры слияния различаются методами преобразования, применяемыми на первом этапе процедуры, и, соответственно, способом введения детализирующей информации на третьем этапе, а также алгоритмом интерполяции, используемым на втором этапе. Подробный обзор методов проведен нами в работе [7].

Полученные при проведении процедуры слияния изображения позволяют значительно увеличить возможности тематического дешифрирования. Вместе с тем эта процедура часто сопровождается проявлением эффекта нарушения цветопередачи в полученном синтезированном изображении. Этот фактор стимулирует необходимость всестороннего анализа многочисленных существующих и разработку новых методов слияния [8,9].

II. Основная часть

Настоящая работа посвящена анализу и модификации метода слияния на основе вейвлет-

преобразования. При использовании этого метода синтезирование цветного изображения высокого разрешения осуществляется следующим образом (Рис. 1). Панхроматическое изображение высокого разрешения раскладывается на несколько панхроматических изображений низкого разрешения с соответствующими вейвлет-коэффициентами (пространственными деталями) для каждого уровня. Затем панхроматическое изображение низкого разрешения заменяется мультиспектральным изображением с таким же разрешением. Выполняется обратное преобразование для перевода составных и замененных частей панхроматического изображения на исходный уровень разрешения панхроматического изображения. Замена и обратная трансформация проводятся три раза, по одному разу на одно мультиспектральное изображение. Таким образом, пространственные детали с высоким разрешением вводятся в каждый мультиспектральный (MS) диапазон посредством выполнения обратного вейвлет-преобразования для каждого MS диапазона совместно с соответствующими вейвлет-коэффициентами [4].

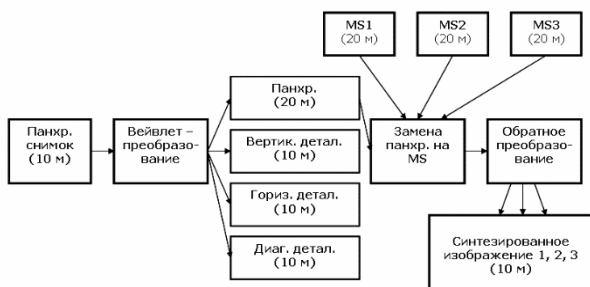


Рис. 1. Схема синтеза на базе метода вейвлет-преобразования.

Используемый в схеме рис.1 алгоритм быстрого вейвлет-преобразования, называемого также алгоритмом Малла, представляет собой процесс, на каждом шаге которого сохраняются детализирующие коэффициенты и коэффициенты усреднения. Прямое вейвлет-преобразование имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} H_{n-1} \\ G_{n-1} \end{bmatrix} a_{n-1} = \begin{bmatrix} a_{n-2} \\ d_{n-2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Где $\begin{bmatrix} H_n \\ G_n \end{bmatrix}$ матрица вейвлет-преобразования сформированная из значений коэффициентов векторов h и g , описывающих тот или иной тип вейвлета.

Обратное вейвлет-преобразование имеет следующий вид:

$$a_k = \begin{bmatrix} H_k^T & G_k^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{k-1} \\ d_{k-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

В результате, исходный сигнал представляется в виде совокупности последовательных приближений грубой $A_m(t)$ и уточненной $D_m(t)$ составляющих

$$S(t) = A_m(t) + \sum_{k=1}^m D_k(t), \quad (3).$$

Значения аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов вычисляются по рекурсивным формулам:

$$\begin{aligned} a_{j+1,k} &= \sum_m h_m a_{j,2k+m} \\ d_{j+1,k} &= \sum_m g_m a_{j,2k+m} \end{aligned} \quad (4)$$

$$a_{0,k} = S_k.$$

Здесь S_k - отсчеты исходного сигнала, $a_{j+1,k}, d_{j+1,k}$ - усредняющие и детализирующие коэффициенты на k уровне разрешения. Для большинства известных вейвлетов значения h определены, а g вычисляется по следующей формуле

$$g_l = (-1)^l h_{2n-1-l} \quad (5)$$

При исследовании метода слияния изображений с использованием вейвлет-преобразования оказывается, что алгоритм, представленный на Рис. 1 является пригодным для использования только с вейвлетами Хаара. Это обусловлено тем, что на каждом шаге вейвлет-преобразования с использованием вейвлетов Хаара один коэффициент усреднения изображения n -ого этапа вейвлет-преобразования формируется за счет использования двух отсчетов $n-1$ -ого этапа. Результатом n -ого вейвлет-преобразования

становится уменьшенная в 2^n раз копия исходного изображения, и, именно поэтому, она может быть заменена мультиспектральным изображением низкого разрешения. В случае же использования других типов вейвлетов, каждый n -ый коэффициент усреднения является линейной комбинацией l отсчетов и несет в себе совокупную информацию обо всех этих отсчетах. Результатом n -ого вейвлет-преобразования в этом случае становится изображение в 2^n раз меньше исходного, однако не соответствующее уменьшенной копии исходного и оно не может быть заменено мультиспектральным изображением низкого разрешения.

Для решения этой проблемы предложен модифицированный алгоритм, в котором на первом этапе частота дискретизации исходных мультиспектральных изображений увеличивается до частоты дискретизации панхроматического снимка, затем проводится прямое вейвлет-преобразование по всем изображениям с использованием необходимого типа вейвлетов. Производится замена детализирующих коэффициентов мультиспектральных снимков на детализирующие коэффициенты панхроматического изображения и проводится обратное вейвлет-преобразование для каждого мультиспектрального снимка. Модифицированный алгоритм представлен на Рис. 2.

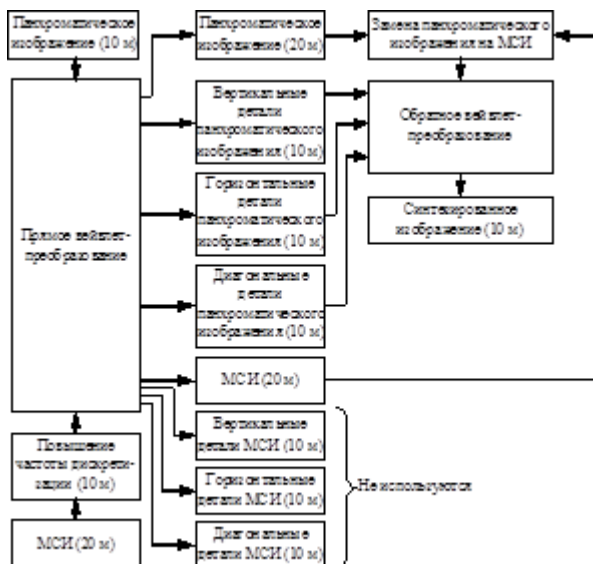


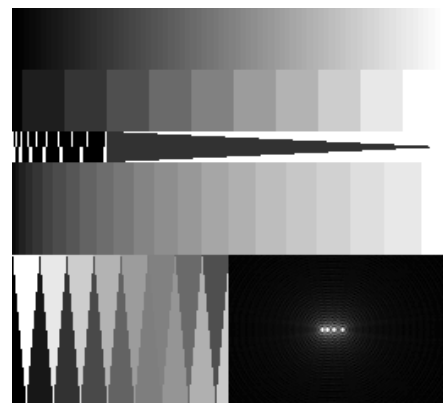
Рис. 2. Модифицированный алгоритм.

В работе исследовалось применение в модифицированном алгоритме следующих типов вейвлетов: Добеши, койфлеты, симлеты, биортогональные и обратные биортогональные вейвлеты. Сравнение результатов обработки изображений с применением вейвлетов различных семейств одного порядка и одного семейства разного порядка осуществлялось путем анализа характеристик разрешения и оценки искажения цветопередачи.

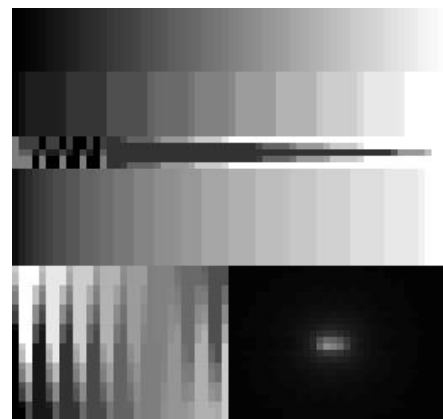
Для оценки разрешения снимков до и после процедуры обработки проводился анализ среза изображения вдоль прямой линии, пересекающей изображения зданий, дорог и технических сооружений разных размеров. Срез представляет собой график зависимости яркости пикселя от расстояния вдоль линии сечения.

Исследования проводились как с использованием специальных тестовых изображений, так и путем обработки реальных космических снимков. Тестовое изображение содержало область с яркостью, изменяющейся по ступенчатому закону и равными расстояниями между границами, область с яркостью, изменяющейся по ступенчатому закону и равномерно увеличивающимися расстояниями между границами, области с сужающимися границами, а также блестящие точки с увеличивающимся расстоянием между ними и изменением яркости.

Пример тестового изображения для мультиспектральных каналов с разрешением в 4 раза меньше панхроматического изображения приведен на рис. 3.



а)



б)

Рис. 3. Тестовое изображение до (а) и после (б) wavelet-преобразования.

Результаты обработки фрагмента космического изображения промышленной зоны в панхроматическом (Рис. 4) и трех спектральных каналах, полученного спутником QuickBird в панхроматическом и трех спектральных каналах описанным методом с использованием вейвлетов Добеши Db4, приведены на Рис. 4-6. Снимок предоставлен Уральским региональным производственным центром геоинформации «Уралгеоинформ».



Рис. 4. Фрагмент космического снимка.

Панхроматический канал.

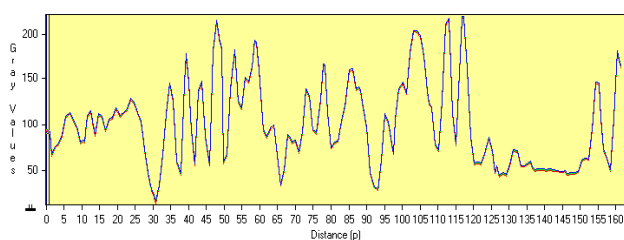


Рис. 5. Сечение панхроматического изображения (разрешение 0,61 м)

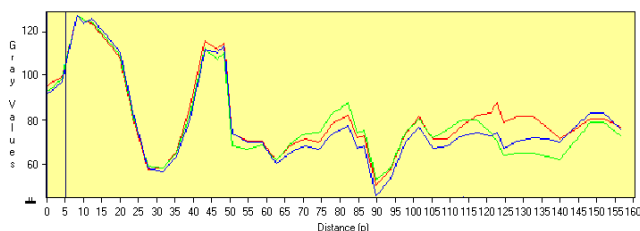


Рис. 6. Сечение изображений красного, синего и зеленого каналов (разрешение 2,4 м)

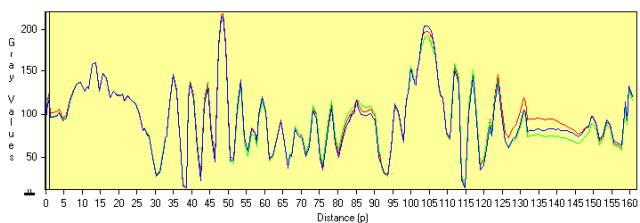


Рис. 7. Сечение цветного изображения после процедуры слияния

Исследования показали, что наилучшие показатели достигаются с использованием вейвлетов Coif, Bior и Rbio. Если Coif и Bior лучше всех позволяли выделять блестящие точки, то Rbio, хотя и оказались менее пригодными для этой процедуры, повышают контрастность изображения и тем самым способствуют выделению слабоконтрастных

областей. Применение вейвлетов одного семейства приводят к одинаковым результатам, независимо от порядка, поэтому целесообразно выбирать вейвлеты меньшего порядка для уменьшения вычислительных затрат.

Анализ характеристик нарушения цветопередачи выявил, что все описанные методы вносят искажения. Однако области, относящиеся к одному типу природных образований, однозначно различаются по цвету, что позволяет успешно проводить процедуру тематического дешифрирования по синтезированному цветному изображению высокого разрешения.

При одинаковом уровне разрешения итоговых изображений, оказывается удобным оценивать проявление эффекта нарушения цветопередачи по коэффициентам корреляции между обрабатываемыми каналами. Суть методики заключается в расчете коэффициента корреляции каналов мультиспектрального изображения между собой и панхроматическим изображением высокого разрешения до и после проведения слияния.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что при выполнении процедуры слияния изображений коэффициент корреляции между итоговыми мультиспектральными и панхроматическим изображениями оказывается больше чем тот же коэффициент для исходных изображений. Увеличение коэффициента корреляции объясняется введением в мультиспектральные каналы информации панхроматического изображения. Все это приводит к потере части цветовой информации и уменьшению цветности итогового изображения по сравнению с исходным мультиспектральным изображением. Это, прежде всего, связано с тем, что при синтезировании изображения большая часть энергии вносится панхроматическим изображением за счет добавления детализирующих коэффициентов. В этой связи, предельным случаем использования метода слияния можно считать различие масштабов панхроматического и мультиспектральных изображений в 16 раз. Этот недостаток, не является особенностью метода слияния на основе вейвлет-преобразования, а относится ко всем методам.

III. Заключение

Предложен модифицированный алгоритм процедуры совместной обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на основе вейвлет-преобразования, позволяющий синтезировать мультиспектральные изображения низкого разрешения и панхроматические изображения высокого разрешения в цветное изображение высокого разрешения, а также объединять их с радиолокационными изображениями. Особенностью алгоритма является возможность использования при масштабировании различных типов вейвлетов.

Исследования указанного алгоритма на тестовых мультиспектральных и панхроматических изображениях, а также при обработке реальных космических снимков высокого разрешения показали его работоспособность и эффективность.

IV. Литература

- [1] Ермаков Д.М., Смирнов М.Т. Проблемы совмещения данных спутниковых оптических и СВЧ сканеров для

их комплексного анализа //Иссл. Земли из космоса, 2001. №2, с.45-54.

- [2] Weydahl, D.J., Becquey, X., Tollefsen, T. Combining ERS-1 SAR with optical satellite data over urban areas// Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995, v. 3, pp. 2161-2163.
- [3] Pohl, C. and Van Genderen, J. L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications //International Journal of Remote Sensing, 1998, Vol. 19, pp. 823-854.
- [4] Chavez, P.S. Jr., Sides, S.C. and Anderson, J.A. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic //Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1991, vol. 57 (3), pp.295-303.
- [5] Vald Lucien. Data Fusion: Definitions and Architectures. Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2002.
- [6] Ranchin, T., Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., and Wald, L. Image fusion – the ARSIS concept and some successful implementation schemes // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2003, v. 58, Issues 1-2, June, pp. 4 - 18.
- [7] Коберниченко В.Г., Тренихин В.А. Методы синтеза изображений на основе данных дистанционного зондирования Земли различного разрешения //«Успехи современной радиоэлектроники», № 4, 2007, с. 22-31.
- [8] Kobernichenko V.G., Trenikhin V.A. Methods for fusing images based on different resolution remote sensed data//«Uspekhi sovremennoi radioelektroniki» (Achievements of Modern Radioelectronics), № 4, 2007, p. 22-31.
- [9] Zhang, Y. Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat 7 images and initial solutions. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol. 34, Part 4, "GeoSpatial Theory, Processing and Applications", Ottawa, 2002.
- [10] Zhang, Y. A new merging method and its spectral and spatial effects // International Journal of Remote Sensing, 1999, vol. 20, pp. 2003-2014.
- [11] Chena, C.M., Hepnerb, G.F., and Forsterb R.R. Fusion of hyperspectral and radar data using the HIS transformation to enhance urban surface features // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2003, v. 58, pp. 19-30.